

文章编号: 1003-7837(2006)01-0019-03

# HfC 陶瓷涂层的制备与性能分析

王德朋, 苏勋家, 侯根良

(西安高科技研究所 501 室, 陕西 西安 710025)

**摘要:**用等离子喷涂法在不锈钢基体上制备了 HfC 陶瓷涂层, 用 X 射线衍射分析仪和扫描电镜对所制备的 HfC 涂层分别进行了组织结构和外表形貌的分析, 并对涂层试样进行了烧蚀试验. 试验结果表明, 可以用等离子喷涂法制备较为致密的 HfC 涂层, HfC 涂层的线烧蚀率为 0.019 mm/s.

**关键词:**等离子喷涂; 涂层; HfC; 烧蚀

**中图分类号:** TG174.442 **文献标识码:** A

随着航天技术的发展, 人们对材料的耐烧蚀性能提出了更高的要求. 碳化物陶瓷熔点高、机械性能好, 它们作为耐烧蚀材料在航天材料领域中有很大的发展前景. HfC 的熔点约为 3890℃, 在高温的条件下, 它的硬度也较高<sup>[1]</sup>. 国内曾经有人用化学气相沉积(CVD)的方法在碳基体上制成了 TaC 涂层<sup>[2]</sup>, 也有人将 TiC 和 ZrC 粉末颗粒加入到 W 基材料中来提高 W 基材料的耐烧蚀性能<sup>[3-4]</sup>, 但用等离子喷涂的方法制备 HfC 涂层, 国内尚未见相关文献报导. 本文在不锈钢基体上用等离子喷涂的方法制备了 HfC 涂层, 并且对涂层性能进行了测试和分析.

## 1 试验

### 1.1 试验设备和材料

本试验是在不锈钢试样上进行等离子喷涂, 喷涂不锈钢试样的大小为 40 mm×40 mm×5 mm. 喷

涂设备为 Metco 9MB 等离子喷涂设备. 用 Philips APD-1700 X 射线衍射仪和 JEOL-JSE-6460 型扫描电镜对粉末和喷涂试样的相和外表形貌进行分析. 用航天四院生产的氧乙炔烧蚀机进行烧蚀试验. 试验所用粉末主要有粘接用金属粉末和 HfC 粉末, HfC 粉末的粒径为 10~30 μm, 粘接层采用 NiCrAl 金属粉末.

### 1.2 试样制备

在喷涂之前需对试样进行预处理, 即将所有试样用丙酮清洗, 然后进行喷砂. 具体喷砂工艺参数如下: 喷砂距离 100 mm、喷砂角度 45°、空气压力 0.8 MPa. 试样表面经喷砂处理后, 先喷涂粘接层金属粉末, 然后喷涂 HfC 陶瓷粉末. HfC 粉末熔点较高, 为了使 HfC 粉末沉积效果好, 采用较高的喷涂功率, 具体喷涂参数见表 1.

表 1 喷涂工艺参数

Table 1 Parameters of plasma spray

喷砂角度/(°)	电流/A	电压/V	氩气压/MPa	氢气压/MPa	喷砂距离/mm	粉末流量/(g·min <sup>-1</sup> )
90	808	76	14	3.5	100	14.4

收稿日期: 2005-05-25

作者简介: 王德朋(1980-), 男, 山东德州人, 硕士.

### 1.3 组织结构和形貌分析

用 X 射线衍射仪对粉末和所制备的 HfC 涂层的组织结构进行了分析,粉末和涂层的 X 射线衍射图谱如图 1 和图 2 所示. HfC 粉末的纯度很高(99.9%),其图谱与衍射卡片基本吻合.从涂层的 X 射线衍射图谱(图 2)中可以看出,除了粘接层金属粉末的衍射峰之外,HfC 相的衍射峰变化不大,这说明在喷涂过程

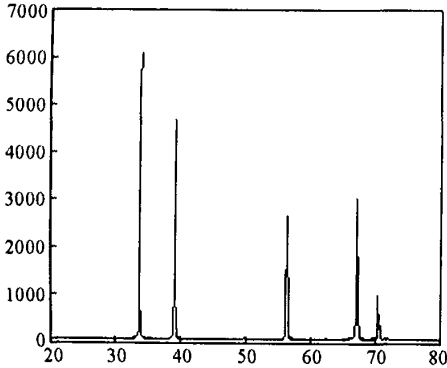


图 1 HfC 粉末的 X 射线衍射图谱  
Fig.1 XRD analysis of HfC powder

中 HfC 无相变.从图 3 HfC 粉末的扫描电镜照片来看,粉末的颗粒大小并不是很均匀,粒径分布在 10~30 μm.从图 4 涂层的扫描电镜照片来看,HfC 涂层厚度约 50 μm,涂层较为致密,但也有少量的小气孔存在.在涂层冷却的过程中,有小片的 HfC 涂层出现裂纹,随后崩裂脱落,见图 5.这应该是基体金属与涂层热膨胀系数不匹配造成的.

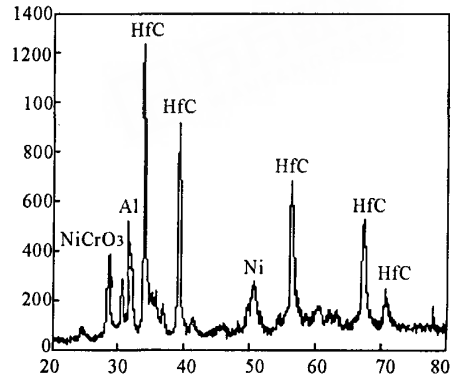


图 2 HfC 涂层 X 射线衍射图谱  
Fig.2 XRD analysis of HfC coating

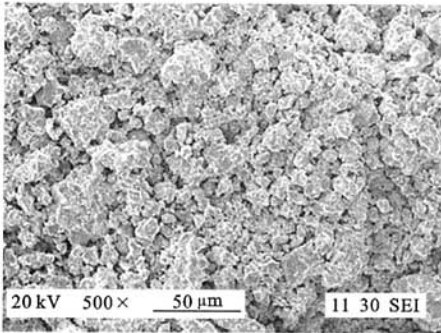


图 3 HfC 粉末的扫描电镜照片  
Fig.3 SEM image of HfC powder

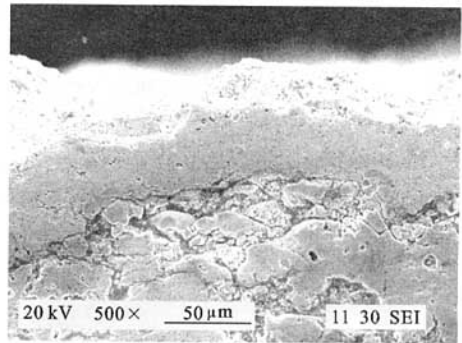


图 4 HfC 涂层断面的扫描电镜照片  
Fig.4 Cross sectional SEM image of HfC coating

### 1.4 HfC 涂层的烧蚀试验

利用氧乙炔烧蚀机产生的火焰以 30°角烧蚀涂层表面,根据表面的烧蚀情况来测涂层的耐烧蚀性能,烧蚀参数见表 2. 试验前,把试样镶嵌在试验板上,并在试样上标注三个点,通过测量这三点在烧蚀前后厚度的变化来确定涂层的线烧蚀率.试样中心处的火焰温度约 3000℃,涂层表面热流约为 5300 kW/m<sup>2</sup>,焰流速度为 2.5 Ma,烧蚀试验中得到的数据列于表 3.从烧蚀后的试样(图 6)来看,由于火焰

的灼烧和气流的冲刷,HfC 涂层大部分已经剥落;由于试样的边缘有缝隙,火焰进入缝隙内,所以边缘烧蚀比较厉害.

表 2 HfC 涂层烧蚀试验参数

Table 2 Parameters of ablation to HfC coating

氧气压 /MPa	乙炔气 压/MPa	燃烧室气 压/MPa	烧蚀距 离/mm	烧蚀角 度/(°)	烧蚀时 间/s
1.95	1.9	1.10	200	30	3

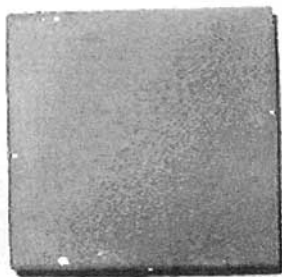


图 5 等离子喷涂 HfC 涂层试样  
Fig. 5 Plasma sprayed coating of HfC

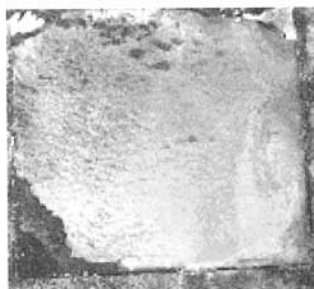


图 6 烧蚀后的 HfC 涂层试样  
Fig. 6 HfC coating after ablation

表 3 HfC 涂层试样烧蚀数据  
Table 3 Ablation data of HfC coating

烧蚀点	烧蚀前厚度 /mm	烧蚀后厚度 /mm	烧蚀深度 /mm	线烧蚀率 /(mm · s <sup>-1</sup> )	平均线烧蚀率 /(mm · s <sup>-1</sup> )
1	5.59	5.54	0.05	0.017	
2	5.78	5.69	0.09	0.030	0.019
3	5.85	5.82	0.03	0.010	

## 2 结 论

(1)与喷涂前的 HfC 粉末相比,涂层中的 HfC 没有发生相变.

(2)制备的 HfC 涂层较致密,但有微小气孔;在涂层冷却过程中,由于基体与涂层的热膨胀系数不匹配,有小块涂层脱落.

(3)在涂层表面温度约 3000℃、焰流速度为 2.5 Ma 及热流 5300 kW/m<sup>2</sup> 的状态下, HfC 涂层的线烧蚀率为 0.019 mm/s.

### 参考文献:

[1] 邹武,张康助,张立同. 陶瓷基复合材料在火箭发动机上的应用[J]. 固体火箭技术,2000,23(2):60-64.  
 [2] 何捍卫,周科朝,熊翔. C/C 复合材料抗烧蚀 TaC 涂层的制备[J]. 稀有金属材料与工程,2004,33(5):490-493.  
 [3] 宋桂明,武英,白厚善. TiC 颗粒增强钨基复合材料的烧蚀性能[J]. 中国有色金属学报,2000,10(3):313-317.  
 [4] 宋桂明,王玉金,周玉,等. TiC 和 ZrC 颗粒增强钨基复合材料[J]. 固体火箭技术,1998,21(4):54-59.

## Preparation and performance analysis of plasma sprayed coating of HfC

WANG De-peng, SU Xun-jia, HOU Gen-liang  
(Xi'an High-tech Graduate School, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** The HfC coating used for ablation and thermal protection has been developed by plasma spraying on the stainless steel samples. The microstructure of the powder and the coating of HfC were investigated by means of X-ray diffractometry(XRD) and scanning electron microscopy(SEM). The ablation test has been made to coating samples. The experimental results show the compacter HfC coatings can be prepared by plasma spray process and the ablation rate of coating is 0.019 mm/s.

**Key words:** plasma spray; coating; HfC; ablation